



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 197 50 350 C 1

51 Int. Cl.⁶:
G 01 P 15/125
H 01 L 49/00

21 Aktenzeichen: 197 50 350.0-52
22 Anmeldetag: 13. 11. 97
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 5. 8. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

- 73 Patentinhaber:
Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE
- 74 Vertreter:
Sender, F., Dipl.-Ing., 01069 Dresden
- 72 Erfinder:
Qu, Wenmin, Dr.-Ing., 01069 Dresden, DE; Wenzel,
Christian, Dr.rer.nat., 01239 Dresden, DE; Drescher,
Kurt, Prof. Dr.-Ing. habil., 01324 Dresden, DE

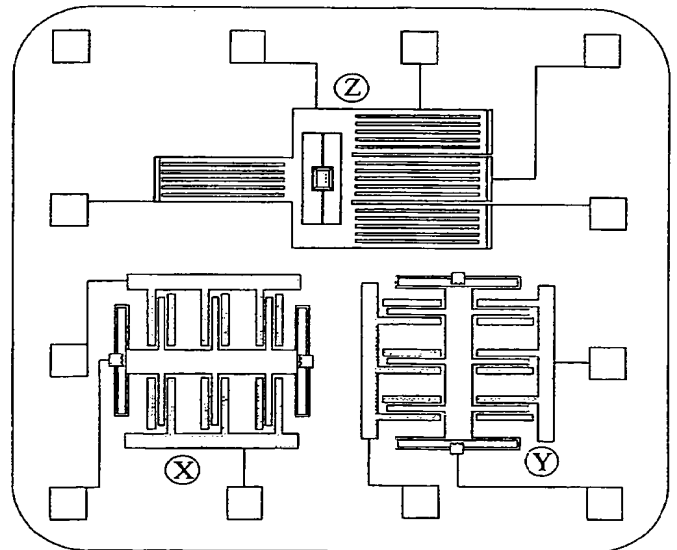
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 32 837 A1
DE 41 26 100 A1
DE 37 41 036 A1
DE 91 13 744 U1
EP 06 23 825
WO 96 04 561
WO 94 14 076
WO 92 03 740

DE-Z.: Elektronik 3 (1995) S. 58-62;
JP-Patents abstracts of JP, 5-264577 (A);
Sensors and Actuators A 48 (1995) 101-108;
Sensors and Actuators A 45 (1994) 7-16;
Transducers 95, Eurosensors IX, June 25-29 (1995)
S. 554-557;
Transducers 95, Eurosensors IX, June 25-29 (1995)
S. 566-569;

54 Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor und Verfahren zu seiner Herstellung mittels UV-unterstützter
Mikrogalvanik

- 57 Die Erfindung betrifft einen dreidimensionalen Chip-Beschleunigungssensor, bestehend aus für die Beschleunigungsrichtungen (x, y, z) einzelnen Beschleunigungssensoren, wobei jeder einzelne Beschleunigungssensor aus drei Schichten (1, 8, 20) besteht, deren erste Schicht als Trägerplatte (1) ausgebildet ist, zwei Biegefedern (3, 10) und einer damit verbundenen auslenkbaren Prüfmasse (2, 12), die aufgrund einer einwirkenden Beschleunigung zu den feststehenden Elektroden (7a, 7b; 9a, 9b) in die Beschleunigungsrichtung auslenkbar ist, und von den feststehenden Elektroden (7a, 7b; 9a, 9b) mit ihren Fingerplatten und der Prüfmasse (2, 12) mit ihren beidseitig angeordneten Fingerplatten eine Differenzkondensatoranordnung gebildet wird. Der dreidimensionale Chip-Beschleunigungssensor ist dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerplatte (1) ein gemeinsamer Träger für die einzelnen Beschleunigungssensoren ist, zu dem die seismischen Prüfmassen (2, 12) in einer Ebene liegen, wobei die seismischen Prüfmassen (2) des Beschleunigungssensors für die x-Richtung zu der seismischen Prüfmasse (2) für die y-Richtung um 90° verdreht ist und die laterale Auslenkung der seismischen Prüfmassen gemessen wird, und der Beschleunigungssensor für die z-Richtung eine asymmetrisch aufgehängte seismische Prüfmasse (12) aufweist und die Torsionsbewegung der seismischen Masse (12) um die von der Aufhängung (10) gebildeten Achse für die Beschleunigung in die z-Richtung gemessen wird, wobei die Trägerplatte ...



DE 197 50 350 C 1

DE 197 50 350 C 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen dreidimensionalen Chip-Beschleunigungssensor sowie ein Verfahren zu seiner Herstellung mittels UV-unterstützter Mikrogalvanik nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 und 9.

Mit der hohen Präzision und den geringen Abmessung kann ein derartiger Beschleunigungssensor überall dort eingesetzt werden, wo eine dreidimensionale Messung von Beschleunigungen in einer "Low-Cost"-Weise erforderlich ist.

Beschleunigung ist ein allgemeiner physikalischer Parameter. Sie begleitet uns in verschiedensten Formen durch das tägliche Leben. So vielfältig wie das Auftreten von Beschleunigungen ist, so vielfältig sind auch ihre Meßverfahren. Beschleunigungssensoren, die auf den piezoelektrischen, piezoresistiven oder kapazitiven Meßprinzipien basieren, wurden bereits entwickelt. Hinsichtlich eines geringen Temperaturkoeffizienten, einer hohen Langzeitstabilität und insbesondere eines monolithischen Integrationspotentials mit Mikroelektronik weisen die oberflächenmikromechanisch hergestellten, kapazitiv arbeitenden Beschleunigungssensoren wesentliche Vorteile gegenüber anderen Prinzipien auf. Die meisten bisher bekannten mikromechanischen Beschleunigungssensoren sind jedoch als eindimensionale Sensoren ausgebildet (WO 92/03740, EP 0 623 825, DE 44 32 837, DE 41 26 100, etc.). Ist eine dreidimensionale Erfassung der Beschleunigung erforderlich, werden drei einzeln arbeitende Sensoren mit entsprechenden mechanischen Hilfsvorrichtungen durch spezifische und sehr aufwendige Montagetechniken auf einem geeigneten Formkörper angeordnet und miteinander verschaltet, wie in den Fällen DE 91 13 744, WO 94/14076 und WO 96/04561, wodurch die erreichbare mechanische Präzision und der Miniaturisierungsgrad eingeschränkt werden. Ein weiterer Nachteil bei dieser Lösung ist der relativ hohe äußere Verdrahtungsaufwand, wodurch bei einigen Anwendungen sogar das Meßsignal verfälscht wird.

In der Druckschrift Reuber, Claus: "Beschleunigung per Chip gemessen", Elektronik 3 (1995) S. 58 bis 62 ist ein Chip-Beschleunigungssensor beschrieben, der nur in einer Richtung empfindlich ist. Dieser Chip-Beschleunigungssensor basiert auf dem kapazitiven Meßprinzip und besteht im wesentlichen aus einer Doppelkamm-Elektrode und einer seismischen Masse, die an einem federnden Arm befestigt ist. Zur Begrenzung der Auslenkung der seismischen Masse ist ein Anschlag vorgesehen.

Aus JP-Patents abstracts of Japan 5-264577 (A) ist ein Chip-Beschleunigungssensor zur Detektion von dreidimensionalen Beschleunigungen bekannt. Hierzu sind vier um einen Punkt angeordnet seismische Massen symmetrisch entlang eines Trägers angeordnet. Entsprechend der Beschleunigung ändern sich die einzelnen Abstände der vier seismischen Massen zu am Träger angebrachten Elektroden, so daß dreidimensionale Beschleunigungswerte bestimmt werden können.

Auf der Fachtagung "8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators 1995", S. 566-569 wurde ein Sensorelement zur dreidimensionalen Bestimmung der Beschleunigung vorgestellt. Eine Piezokeramik wurde als Kernelement verwendet, die unter Einwirkung einer Beschleunigung deformiert wird und dabei eine Ladung erzeugt. Eine Gruppe von 16 Elektroden wurden zur Messung der Ladungsänderung an der Piezokeramik angebracht. Die Beschleunigungen verschiedener Achsen wurden anschließend aus 16 Signalen aufwendig umgerechnet. Außerdem ist die Temperatur-Drift des Sensors sehr groß. Auf der gleichen Tagung (S. 554-557) wurde noch ein kapazitiv arbeitender dreidimensionaler Beschleunigungssensor vorge-

stellt. Dieser weist eine Glas-Silizium-Glas-Struktur auf und wurde mittels Bulkmikromechanik hergestellt. Die drei Scheiben wurden separat strukturiert und bei kontrolliertem Druck durch anodisches Bonden hermetisch verschlossen. Die Beschleunigung muß auch hier durch eine aufwendige Kalkulation aus den Meßsignalen entsprechender Meßelektroden errechnet werden.

In der DE 37 41 036 wird ein direkt messender dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor vom piezoresistiven Prinzip beschrieben. Einerseits weist das piezoresistive Prinzip Nachteile im Vergleich zum kapazitiven Meßprinzip auf, andererseits benötigt seine Herstellung viele Zeit- und kostenaufwendigen Prozesse, z. B. Epitaxie, Ionenimplantation der Ätzstoppschicht, Diffusion von Piezowiderständen sowie eine mehrstufige lithographische Strukturierung. Diese Herstellung ist nicht mit den IC-Technologien kompatibel. Daher scheidet eine Integrationsmöglichkeit des Sensorelementes mit der Auswerteschaltung aus.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Herstellung dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensoren mit Hilfe eines einfachen, kostengünstigen Verfahrens zu realisieren. Dabei soll der Chip-Beschleunigungssensor so gestaltet werden, daß er für eine dreidimensionale Bestimmung der Beschleunigungen nutzbar ist, und zwar in jeder Meßrichtung vorteilhaft auf dem Differentialkapazitätsmeßprinzip basierend. Der Sensor soll mittels einer kostengünstigen und mit dem IC-Prozeß kompatiblen Technologie in einem Planar-Prozeß mit wenigen Herstellungsschritten hergestellt werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen Chip-Beschleunigungssensor mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Weiterbildungen und Ausgestaltungen ergeben sich aus den zugehörigen Unteransprüchen. Weiterhin wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den im Anspruch 9 genannten Verfahrensschritten gelöst. Vorteilhafte Verfahrensvarianten ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Wesentliches Merkmal der Erfindung ist, daß der Chip-Beschleunigungssensor ein integrierter Aufbau aus drei differential-kapazitiv arbeitenden Beschleunigungssensoren ist, bei denen es sich um zwei identische, jedoch um 90° gegeneinander verdrehte lateral empfindliche Sensoren für X- und Y-Richtung und einen vertikal empfindlichen Sensor für Z-Richtung handelt.

Der Chip-Beschleunigungssensor wird durch die Kombination eines UV-unterstützten Mikrogalvanikprozesses mit einer Opferschichttechnik aus einem Dreischichtsystem hergestellt. Die erste Schicht dient als Basisschicht für den galvanischen Aufbau der Sensorstruktur. Die Verbindungsbahnen bzw. die Bondpads auf dem Träger werden ebenfalls aus der ersten Schicht herausstrukturiert. Die zweite Schicht ist die sogenannte Opferschicht, die als Hilfsschicht zum Aufbau der Sensorstruktur dient und danach wieder vollständig weggeätzt wird. Die dritte Schicht bildet die eigentlich Sensorstruktur, die elektrochemisch innerhalb der Zwischenräume eines lithographisch strukturierten Lacks auf der Basisschicht bzw. der Opferschicht aufwächst. Die gewünschten beweglichen Teile der Sensorstruktur werden dann durch selektives naßchemisches Ätzen der darunterliegenden Opferschicht erzeugt.

Der große Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die drei Sensorelemente zur Bestimmung der Beschleunigung in den drei Raumachsen mittels planarer Mikrogalvanik auf einem Substrat integriert aufgebaut sind. Hierdurch erübrigen sich mechanische Hilfsvorrichtungen, die Montage- bzw. die Verschaltungsarbeit, die bei drei eindimensionalen Beschleunigungssensoren zur dreidimensionalen Beschleunigungsmessung notwendig sind. Der erfindungsgemäße

Chip-Beschleunigungssensor weist einen hohen Miniaturisierungsgrad und eine hohe mechanische Präzision auf.

In jeder Meßrichtung beruht die Messung auf dem Differentialkapazitätsmeßprinzip. Somit kann die Beschleunigung in jeder Richtung mittels des sogenannten Kraftkompensationsverfahrens genau und linear bestimmt werden. Dabei wird die seismische Masse durch eine elektronische Regelung in Nullstellung gehalten, womit Nichtlinearitäten der Federauslenkung ausgeschaltet werden. Daneben wird die Struktur mechanisch weniger belastet, so daß eine höhere Langzeitstabilität des Sensors gewährleistet ist.

Das Herstellungsverfahren ist besonders einfach und wirtschaftlich, da aufwendig hohe Temperaturprozesse, Trockenätzung, Dotierung sowie X-ray Lithographie weitestgehend vermieden werden.

Bei den verwendeten lateral empfindlichen Beschleunigungssensoren sind die feststehenden Elektroden unverrückbar auf einem isolierten Substrat aufgebaut, indem sie jeweils in ihrem Mittelbereich mit dem Träger fest verbunden sind. Im Vergleich dazu sind die sogenannten feststehenden Elektroden beim Stand der Technik eigentlich nur an einem Ende zum Träger hin verankert. Entlang der Fingerelektroden bleibt die Plattenhöhe und somit die Kapazität des Kondensators konstant. Dies ermöglicht eine hohe Stabilität der Struktur, womit eine hohe Meßgenauigkeit gewährleistet wird. Es wird vorteilhaft eine gefaltete Biegefeder benutzt, die eine stärkere Auslenkung der Prüfmasse zuläßt. Zusätzliche Blöcke an den Lageinseln dienen zum Schutz vor zu großer Auslenkung.

Vorteilhaft sind beim vertikal empfindlichen Beschleunigungssensor die Torsionsfedern nicht direkt, sondern über einen rechteckigen Ring mit dem Anker verbunden. Dies verhindert eine Übertragung von Spannungen vom Anker auf die Torsionsfeder. Zugleich wird die asymmetrische Masse mit Schlitz versehen, um günstige dynamische Eigenschaften des Sensors zu erzielen. Die Breite der Schlitzes sollte die Hälfte des Schlitzabstandes betragen.

Die Höhe der Sensorstruktur wird durch die Dicke des verwendeten Fotolacks bestimmt und kann bis zu etwa 30 µm mit einem Aspektverhältnis von etwa 6 reichen. Im Vergleich dazu weisen aus Polysilizium heraus strukturierte Beschleunigungssensoren eine Strukturhöhe von etwa 2 µm auf. Hohe Strukturen verbessern die Steifigkeit der Sensorstruktur. Die Querempfindlichkeit in anderer Richtung ist aufgrund der hohen Steifigkeit der Aufhängungen der seismischen Massen sehr gering.

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor ist aus galvanisierten metallischen Schichten aufgebaut, die ein direktes Bonden mit Metallocdraht (Au, AlSi) zulassen oder zu denen sich durch das sogenannte Flip-Chip-Bonden eine dauerhafte Verbindung mit der äußeren Schaltung herstellen läßt. Damit wird eine zusätzliche Metallisierung überflüssig.

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor ist mit der Auswerteschaltung in einem sogenannten Additiv-Verfahren auf, demselben Substrat einfach integrierbar. Die Auswerteschaltung kann zunächst mittels eines beliebigen Verfahrens hergestellt werden (CMOS-, Bipolar- oder Mischprozeß). Das Verfahren zur Herstellung des Sensors, setzt additiv ohne Eingriff in das Verfahren zur Herstellung der Auswerteschaltung an.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend an Hand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: eine Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen Chip-Beschleunigungssensors

Fig. 2: einen schematischen Aufbau eines lateral empfindlichen Beschleunigungssensors

Fig. 3: einen Querschnitt A-A' entsprechend Fig. 2

Fig. 4: einen Querschnitt B-B' entsprechend Fig. 2

Fig. 5: einen schematischen Aufbau des vertikal empfindlichen Beschleunigungssensors

Fig. 6: einen Querschnitt C-C' entsprechend Fig. 5

Fig. 7: eine Darstellung zur Veranschaulichung des Herstellungsverfahrens.

Fig. 1 stellt eine Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen Chip-Beschleunigungssensors dar. Der erfindungsgemäße Chip-Beschleunigungssensor besteht aus zwei identischen, um 90° gegeneinander verdrehten lateral empfindlichen Sensorelementen (für X- und Y-Meßrichtung) und einem vertikal empfindlichen Sensorelement (für Z-Meßrichtung). Jedes Sensorelement ist wie ein Differentialkondensator aufgebaut, d. h. jeder weist eine an Lagerinseln über die Biegedern aufgehängte seismische Masse als bewegliche Mittelelektrode und zwei feststehende Gegenelektroden auf. Die Lagerinseln für die Aufhängung der seismischen Masse und die Gegenelektroden werden durch die Leiterbahnen zu Bondpads geführt.

Fig. 2 zeigt den schematischen Aufbau eines lateral empfindlichen Beschleunigungssensors auf einem Träger 1. Der Sensor weist eine seismische Prüfmasse 2 auf, die an jedem Ende jeweils über eine gefaltete Biegefeder 3 an einer Lageinsel 4 parallel zur Oberfläche des Trägers 1 lateral auslenkbar aufgehängt ist (siehe Pfeil in Fig. 2). Der Abstand zwischen der Prüfmasse 2 und dem Träger 1 entspricht der Dicke der im Herstellungsprozeß verwendeten Opferschicht. Die Verwendung einer gefalteten Biegefeder 3 läßt eine stärkere Auslenkung der Prüfmasse 2 als eine einfache gerade Aufhängung infolge ihrer kleinen Federkonstante zu, die nur halb so groß ist, wie die bei einer einfachen Aufhängung. Die zusätzlichen Blöcke 5 an den Lageinseln 4 sind zum Schutz vor einer zu großen Auslenkung der Prüfmasse 2 vorgesehen. Der laterale Abstand zwischen den Blöcken 5 und der Prüfmasse 2 bestimmt die maximale Auslenkung der Prüfmasse 2 und somit den Arbeitsbereich des lateral empfindlichen Beschleunigungssensors.

Aus der Prüfmasse 2 ragen rechts und links Fingerstrukturen 6 heraus, die jeweils gegenüberliegenden Fingerplatten der feststehenden Elektroden 7a und 7b zugeordnet sind. Demzufolge entsteht zwischen der beweglichen Prüfmasse 2 und den zwei starren Elektroden 7a und 7b eine Differenzkondensatoranordnung, d. h. die bewegliche Prüfmasse 2 bildet mit den beiden feststehenden Elektroden 7a und 7b jeweils einen Kondensator, wobei sich die Kapazität des einen Kondensators erhöht, wenn die Kapazität des anderen Kondensators abnimmt. Durch Messung der Kapazität zwischen den beweglichen Elektroden 6 und den feststehenden Elektroden 7a und 7b kann die Auslenkung der seismischen Prüfmasse 2 bzw. die Beschleunigung bestimmt werden.

Die feststehenden Elektroden 7a und 7b sind jeweils mit ihrem Mittelbereich fest mit dem Träger 1 verbunden. Eine entsprechende Ansicht enthält Fig. 3. Hier wird ein Querschnitt durch den Sensor nach der Fig. 2 entlang A-A' dargestellt. Wie in Fig. 3 zu erkennen ist, sind die Elektroden 7a und 7b jeweils an ihrer Mittelstelle über die Basisschicht 8 mit dem Träger 1 fest verbunden, während die Elektroden 6 von der seismischen Prüfmasse 2 lateral frei beweglich bleibt. Entlang der Fingerelektroden bleiben die Plattenfläche und somit die Kapazität des Kondensators zwischen Festelektroden 7a und 7b und der seismischen Prüfmasse 2 konstant.

Dieser Aufbau hat deutliche Vorteile gegenüber den Sensorstrukturen nach WO 92/03740, DE 44 32 837 A1 sowie den von Siemens bzw. Analog Devices (siehe Zeitschrift "Sensors and Actuators" A 45 (1994) S. 7-16 und A 48 (1995) S. 101-108) bekannten, bei denen die sogenannten feststehenden Elektroden nur an einem Ende zum Träger

verankert sind. Bei diesen sind einerseits die Sensorstrukturen instabil, die sich unter dem Einfluß der Beschleunigung auch bewegen, was zu einer verringerten Meßgenauigkeit führt. Andererseits verbiegen sich solche Elektrodenanordnungen nach unten. Dies hat eine Verringerung der Kondensatorfläche und somit der Meßkapazität zur Folge, wodurch sich die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors verringert.

Wie in Fig. 2 zu erkennen ist, sind die Finger der feststehenden Elektroden 7a bzw. 7b an beiden Seiten der beweglichen Masse 2 angeordnet. Die elektrische Kontaktierung der Fingerelektroden zu beiden Seiten der seismischen Prüfmasse 2 erfolgt durch eine aus der Basisschicht 8 herausstrukturierten, unterhalb der beweglichen Prüfmasse 2 geführten Leitbahn, entsprechend der Darstellung in Fig. 4.

Fig. 5 zeigt den schematischen Aufbau des vertikal empfindlichen Beschleunigungssensors auf einem Träger 1. Die Grundstruktur des vertikal empfindlichen Sensors ist eine über zwei Gegenelektroden 9a und 9b durch eine Torsionsfeder 10 an einem Anker 11 aufgehängte asymmetrische Prüfmasse 12. Der Anker 11 ist an seinem Mittelbereich über Basisschicht 8 mit dem Träger 1 fest verbunden. Die Torsionsfedern 10 ist über einen rechteckigen Ring 15, die seinerseits wiederum über vier Verbindungsstänge 16 am Anker 11 befestigt ist, mit dem Anker 11 verbunden. Dieser Aufbau verhindert die Übertragung mechanischer Spannungen von Anker 11 zur Torsionsfedern 10. Unter der asymmetrischen Prüfmasse 12 liegen noch zwei Elektroden 13a und 13b, die zum Selbsttest dienen.

Um die hohe Empfindlichkeit des Sensors zu erhalten, muß der Abstand zwischen der asymmetrischen Prüfmasse 12 und Gegenelektroden 9a und 9b möglichst gering sein, damit die durch die Auslegung hervorgerufene Änderung des Elektrodenabstandes zu einer großen Kapazitätsänderung führt. Bei einem kleinen Abstand ergibt sich das Problem von Überdämpfungen. Um günstige dynamische Eigenschaften des Sensors zu erzielen, wird die asymmetrische Prüfmasse 12 oberhalb der Elektroden 9a, 9b, 13a und 13b mit Schlitzen 14 versehen. Die optimale Breite der Schlitzen sollte die Hälfte der Schlitzenabstände betragen. Die Schlitze dienen zur Verringerung der Luftdämpfung und verleihen dem Sensor eine hohe Bandbreite.

In der Fig. 6 wird ein Querschnitt durch den Sensor nach der Fig. 5 entlang C-C' dargestellt. Wie zu erkennen ist, stellt die asymmetrische Prüfmasse 12 gemeinsam mit beiden Elektroden 9a und 9b einen Differenzkondensator dar. Der Abstand zwischen der asymmetrischen Prüfmasse 12 und den Elektroden 9a und 9b entspricht der Dicke der verwendeten Opferschicht. Eine in Z-Richtung wirkende Beschleunigung hat eine resultierende Kraft zur Folge, die zu einer Torsion der Torsionsfedern 10 durch eine Auslenkung der asymmetrischen Prüfmasse 12 führt. Demzufolge ändern sich die beiden Kapazitäten zwischen der asymmetrischen Prüfmasse 12 und den festen Elektroden 9a und 9b.

Ein oben beschriebener, mikromechanischer Chip-Beschleunigungssensor ist nach Anspruch 9 durch Kombination eines UV-unterstützten mikrogalvanischen Prozesses mit einer Operschichttechnik einfach herstellbar, dessen Ablauf in Fig. 7 schematisch dargestellt ist. In der Fig. 7 sind ein lateral empfindlicher Beschleunigungssensor (linke Seite) und ein vertikal empfindlicher Beschleunigungssensor (rechte Seite) dargestellt.

Auf einem Träger 1 wird zunächst ein 0,8 µm dicker Fotolack 17 aufgebracht, der anschließend lithographisch strukturiert wird. Fig. 7.1 zeigt den Träger 1 mit dem strukturierten Fotolack 17. Der Träger 1 besteht aus Silizium, dessen Oberfläche mit SiO₂- oder Si₃N₄-Schicht elektrisch isoliert ist. Als Träger können auch Glas, Al₂O₃ oder andere

keramischen Materialien verwendet werden.

Auf der Oberfläche des strukturierten Fotolacks 17 wird ein Schichtsystem (50 nm Dicke W/Ti und 300 nm Dicke Cu) mittels Sputtern abgeschieden. Dabei dient W/Ti als Haftvermittler und Cu als Basisschicht 8. Für diese Schicht können außer Cu auch andere leitenden Materialien benutzt werden, solange sie einen hohen Ätzwiderstand gegen Ätzlösungen für Titan aufweisen, z. B. Au, Ag, Pt, etc. Durch anschließendes Lift-Off werden die Bondpads, die Leitbahnen, die Gegenelektroden des vertikal empfindlichen Beschleunigungssensors bzw. die Lagerinseln des lateral empfindlichen Beschleunigungssensor strukturiert, wie in Fig. 7.2 gezeigt ist.

Auf der Oberfläche der Lift-Off strukturierten Basisschicht wird eine Titanschicht 18 mit einer Dicke von ca. 3 µm mittels Hochvakuumverdampfens aufgebracht und anschließend mit einer 2 µm dicken Ätzmaske, die durch einen fotolithographischen Prozeß hergestellt ist, näßchemisch so strukturiert, daß die Bereiche, in denen sich die zum Schluß feststehenden Teile der Mikrostruktur befinden sollen, bis zur Cu-Unterlage geätzt werden. Titan wird als Opferschichtmaterial ausgewählt, weil die Ti-Oberfläche eine gute Adhäsion auf dem verwendeten dicken UV-Lack gewährleistet, weil es die Möglichkeit für eine homogene Abscheidung der Nickel-Sensorschicht bietet und beim Ätzen mit Flußsäure eine sehr hohe Selektivität zu allen anderen Materialien des Sensorsystems aufweist. Es ist möglich, mittels PVD Titan spannungsarm mit Dicken bis zu 10 µm abzuscheiden. Die Dicke der Ti-Schicht als Opferschicht sollte einerseits sehr groß sein, damit die beweglichen Strukturen einen hinreichenden Abstand zum Substrat aufweisen, andererseits führt ein großer Abstand bei zu großer Dicke zu einer kleineren Kapazität des vertikal empfindlichen Sensors. Als Kompromiß zur konträren Anforderung wurde eine Ti-Schichtdicke von 3 µm gewählt. Fig. 7.3 zeigt die strukturierten Titanschicht.

Eine dicke Fotolackschicht 19 wird anschließend aufgeschleudert. Ein für diesen Prozeß besonderes geeigneter Fotolack ist AZ 4562. Bei einer einfachen Beschichtung kann die Dicke des Fotolacks etwa 10 µm erreichen. Noch dickere Lackschichten können nach einem Softbake der vorherigen Lackschicht und Wiederholung des Schleuderprozesses erreicht werden. Wegen der technischen Beschränkungen der UV-Lithographie ist eine Lackdicke von mehr als 30 µm nicht zu empfehlen. Nach der Trocknung wird der dicke Fotolack über eine Maske, die das Layout der Sensorstruktur enthält, belichtet. Durch anschließendes Herauslösen der belichteten Bereiche in einem Entwickler entsteht im Fotolack ein Formeinsatz für die Galvanoformung der Sensorstruktur (Fig. 7.4).

Fig. 7.5 zeigt den galvanischen Aufbau der Sensorstruktur. Nickel, das eigentliche Funktionsmaterial des Beschleunigungssensors wird aus einem Nickelsulfamat-Elektrolyten in die Freiräume des Fotolacks 19 auf der Basisschicht 8 bzw. der Opferschicht 18 elektrochemisch abgeschieden. Die Zusammensetzung der verwendeten Elektrolyte für die Galvanoformung der Sensorstruktur ist:

Ni-Sulfat: 350 g/l,
Ni-Chlorid: 5 g/l,
H₃BO₃: 35 g/l und
Ni-Karbonat: 3 g/l.

Damit eine homogene Ni-Schicht mit einer inneren Spannung von weniger als 10 N/mm² hergestellt werden kann, wird die Elektrolyt-Lösung durch Salpetersäure bis einem PH-Wert von 3,5 eingestellt und folgende Abscheidungsparameter gewählt: Temperatur 55°C, Stromdichte 1 A/dm².

Die Abscheiderate beträgt dabei etwa 0,2 µm/min.

An die Abscheidung der Sensorstrukturen schließt sich das Strippen des Fotolacks **19** an. Dies geschieht durch Ablösen mit Azeton oder, wenn das Hardbake bei Temperaturen oberhalb von 120°C erfolgte, in einem Gemisch aus H₂SO₄ und H₂O₂ bzw. durch Veraschen in einem Sauerstoffplasma.

Im letzten Fabrikationsschritt wird die Titanopterschicht mit einer 5%igen Flußsäure selektiv gegenüber den übrigen Metallen geätzt. Nach diesem Prozeß ist die auf der Titanschicht aufgewachsene Sensorstruktur frei beweglich, während die anderen Teile der Sensorstruktur, die auf dem Cu-Basis aufgewachsen sind, fest mit dem Substrat verankert bleiben (Fig. 7.6).

Patentansprüche

1. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor bestehend aus für die Beschleunigungsrichtungen (x, y, z) einzelnen Beschleunigungssensoren, wobei jeder einzelne Beschleunigungssensor aus drei Schichten (**1**, **8**, **20**) besteht, deren erste Schicht als Trägerplatte (**1**) ausgebildet ist, zwei Biegefedern (**3**, **10**) und einer damit verbundenen auslenkbaren Prüfmasse (**2**, **12**), die aufgrund einer einwirkenden Beschleunigung zu den feststehenden Elektroden (**7a**, **7b**; **9a**, **9b**) in die Beschleunigungsrichtung auslenkbar ist, und von den feststehenden Elektroden (**7a**, **7b**; **9a**, **9b**) mit ihren Fingerplatten und der Prüfmasse (**2**, **12**) mit ihren beidseitig angeordneten Fingerplatten eine Differenzkondensatoranordnung gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Trägerplatte (**1**) ein gemeinsamer Träger für die einzelnen Beschleunigungssensoren ist, zu dem die seismischen Prüfmassen (**2**, **12**) in einer Ebene liegen, wobei die seismischen Prüfmassen (**2**) des Beschleunigungssensors für die x-Richtung zu der seismischen Prüfmasse (**2**) für die y-Richtung um 90° verdreht ist und die laterale Auslenkung der seismischen Prüfmassen gemessen wird, und der Beschleunigungssensor für die z-Richtung eine asymmetrisch aufgehängte seismische Prüfmasse (**12**) aufweist und die Torsionsbewegung der seismischen Masse (**12**) um die von der Aufhängung (**10**) gebildete Achse für die Beschleunigung in die z-Richtung gemessen wird, wobei die Trägerplatte (**1**) aus Silizium oder Keramik besteht und alle weiteren Teile des Beschleunigungssensors metallische Strukturen sind.
2. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß links und rechts der Fingerplatten (**6**) der seismischen Prüfmasse (**2**) feststehende Elektroden (**7a**, **7b**) vorgesehen sind, wobei alle Elektroden (**7a**) und alle Elektroden (**7b**) untereinander durch eine erste Metallschicht (**8**) verbunden sind.
3. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die feststehenden Elektroden (**7a**, **7b**) über ihre gesamte Länge durch die erste Metallschicht (**8**) mit dem Träger (**1**) kontaktiert sind.
4. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Prüfmasse (**2**) über je eine an den Enden der Prüfmasse (**2**) vorgesehene gefaltete Biegefeder (**3**) an der Lagerinsel (**4**) befestigt ist.
5. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagerinseln (**4**) zusätzliche Blöcke (**5**) zur Begrenzung der Auslenkung der seismischen Prüfmasse (**2**) aufwei-

sen.

6. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Masse (**12**) des Beschleunigungssensors für die z-Richtung unterschiedlich großen Massen, bezogen auf die von der Torsionsfeder (**10**) gebildete Achse, aufweist.

7. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Torsionsfeder (**10**) an einem rechteckigen Ring (**15**) befestigt ist, der seinerseits mittels Stützen (**16**) mit der Lagerinsel (**11**) verbunden ist.

8. Dreidimensionaler Chip-Beschleunigungssensor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Prüfmasse (**12**) Schlitze (**14**) aufweist, wobei die Breite der Schlitze (**14**) die Hälfte des Abstandes der Schlitze (**14**) beträgt.

9. Verfahren zur Herstellung eines dreidimensionalen Chip-Beschleunigungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mittels UV-unterstützter Mikrogalvanik, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) auf einem Träger (**1**) eine Fotolackschicht (**17**) aufgeschleudert und anschließend die Fotolackschicht fotolitografisch strukturiert wird, wobei die Struktur das Negativ für die Stützpunkte und die feststehenden Elektroden bildet,
- b) in die strukturierte Fotolackschicht (**17**) eine erste Metallschicht (**8**) über einen Haftvermittler abgeschieden wird und anschließend die verbliebene Fotolackschicht (**17**) entfernt wird,
- c) über die so strukturierte erste Metallschicht (**8**) eine zweite Metallschicht (**18**) abgeschieden und anschließend strukturiert wird, wobei die späteren Stützpunkte der feststehenden Strukturen freigelegt werden,
- d) auf der zweiten strukturierten Metallschicht (**18**) eine dicke Fotolackschicht (**19**) aufgeschleudert und nachfolgend strukturiert wird, wobei von dieser Struktur das Muster für den nachfolgenden galvanischen Aufbau gebildet wird,
- e) das eigentliche Funktionsmaterial (**20**) der Beschleunigungssensoren in den Formeneinsatz der dicken Fotolackschicht (**19**) galvanisch auf der ersten Metallschicht (**8**) und der zweiten Metallschicht (**18**) abgeschieden wird, und schließlich
- f) die dicke Fotolackschicht (**19**) gestrippt wird und anschließend die zweite Metallschicht (**18**) vollständig entfernt wird, wodurch das eigentliche Funktionsmaterial beweglich wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Fotolackschicht (**17**) im Schritt a) mittels coating aufgeschleudert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturierung der ersten Metallschicht (**8**) in den Schritten a) und b) durch Lift-Off erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 9, 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Metallschicht (**18**) in den Schritten c) bis f) eine Opferschicht ist und als temporäre Titanschicht abgeschieden wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

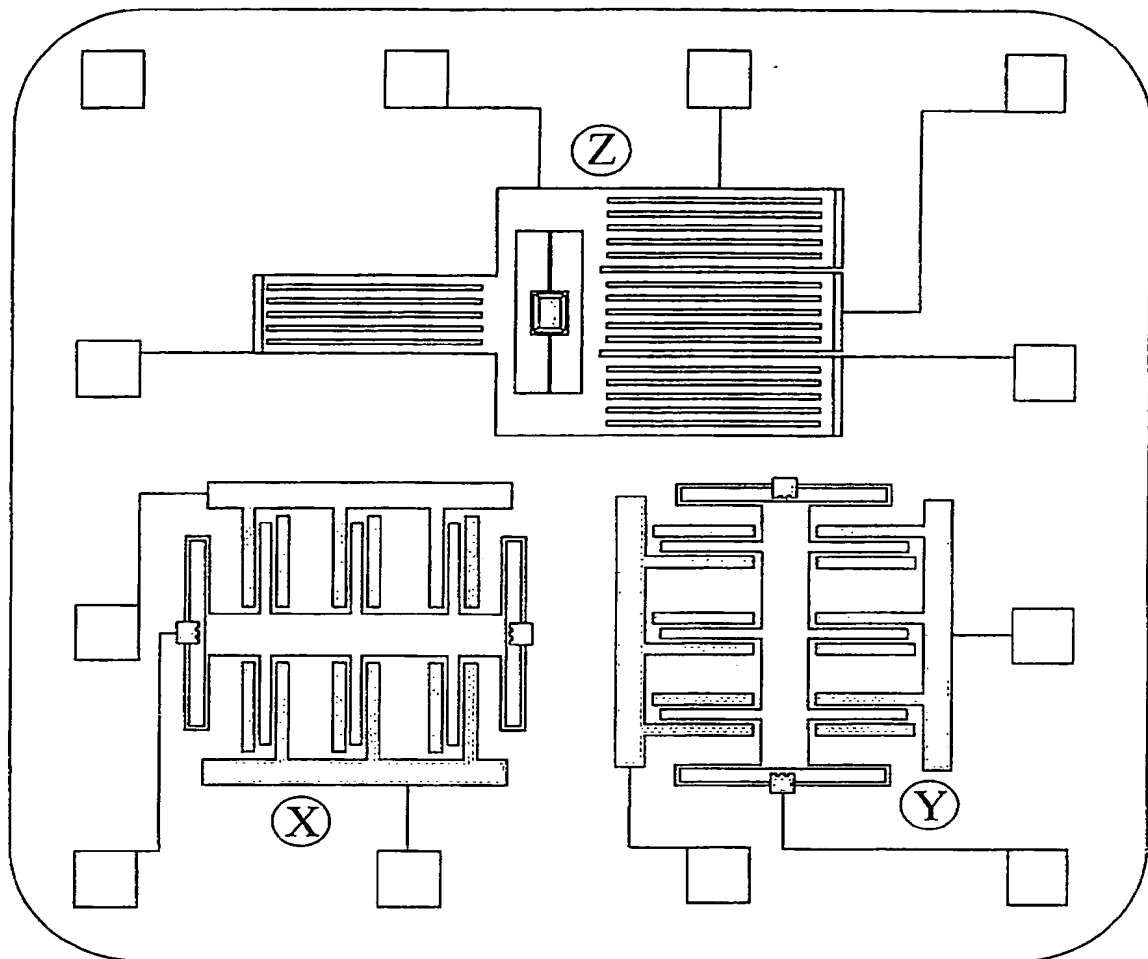


Fig. 1

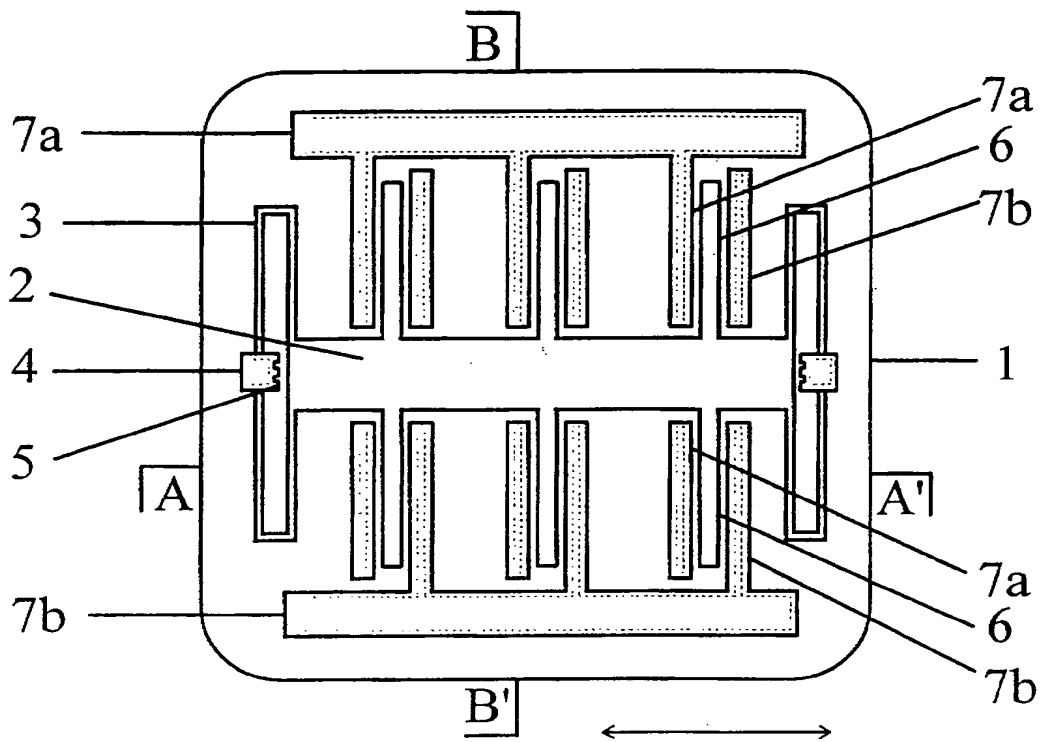


Fig. 2

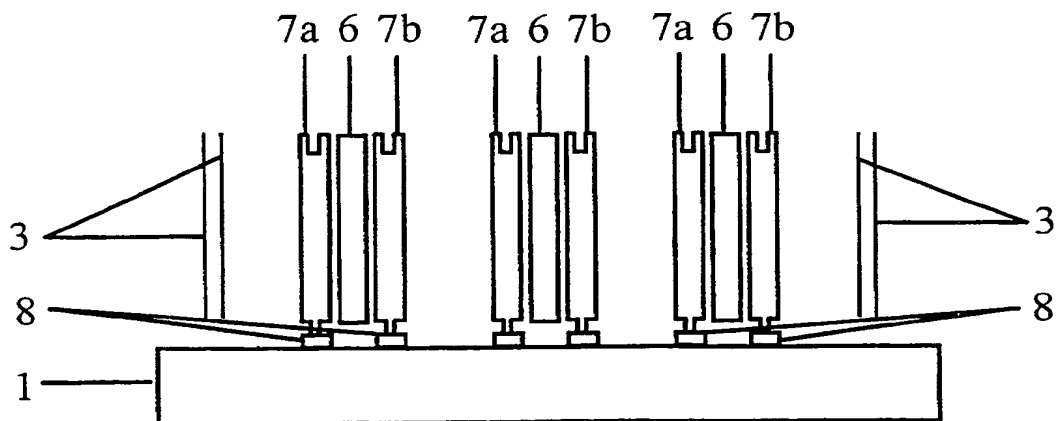


Fig. 3

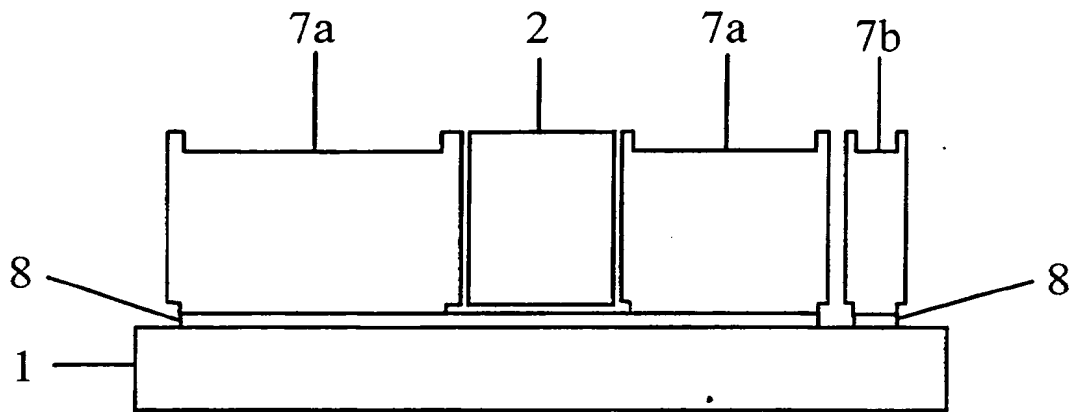


Fig. 4

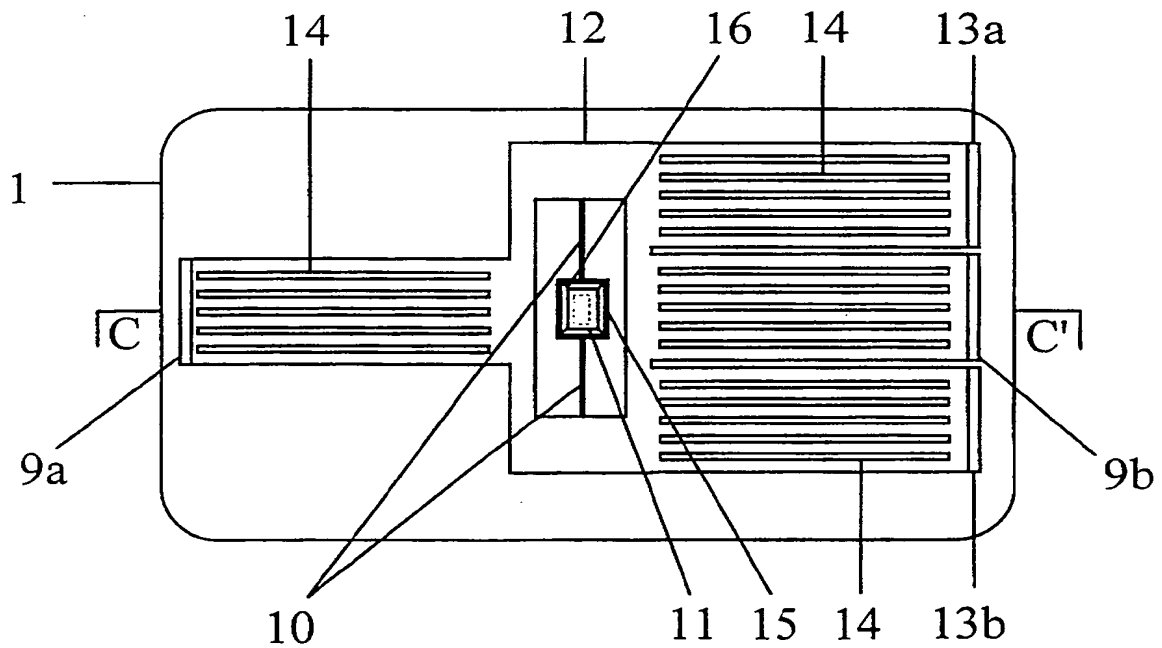


Fig. 5

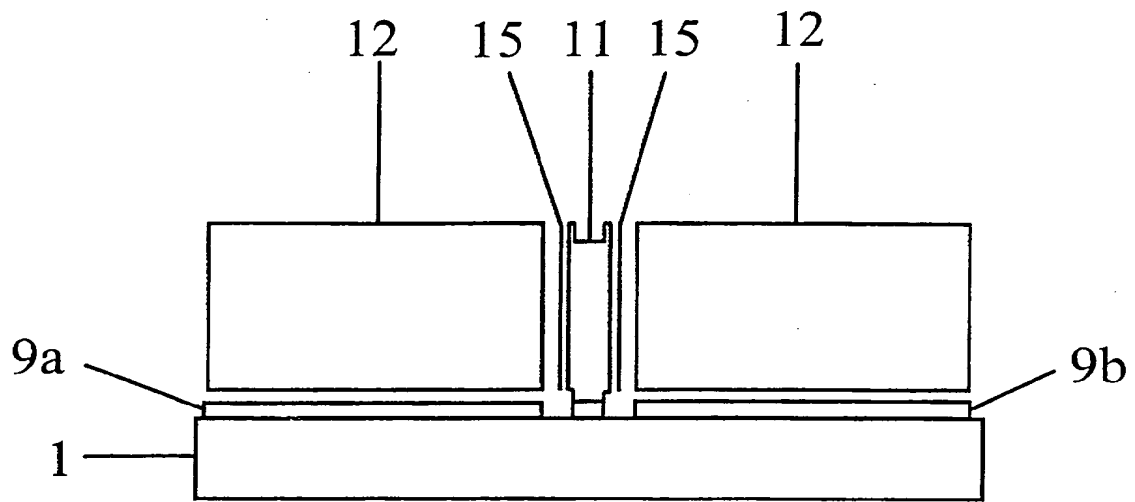


Fig. 6

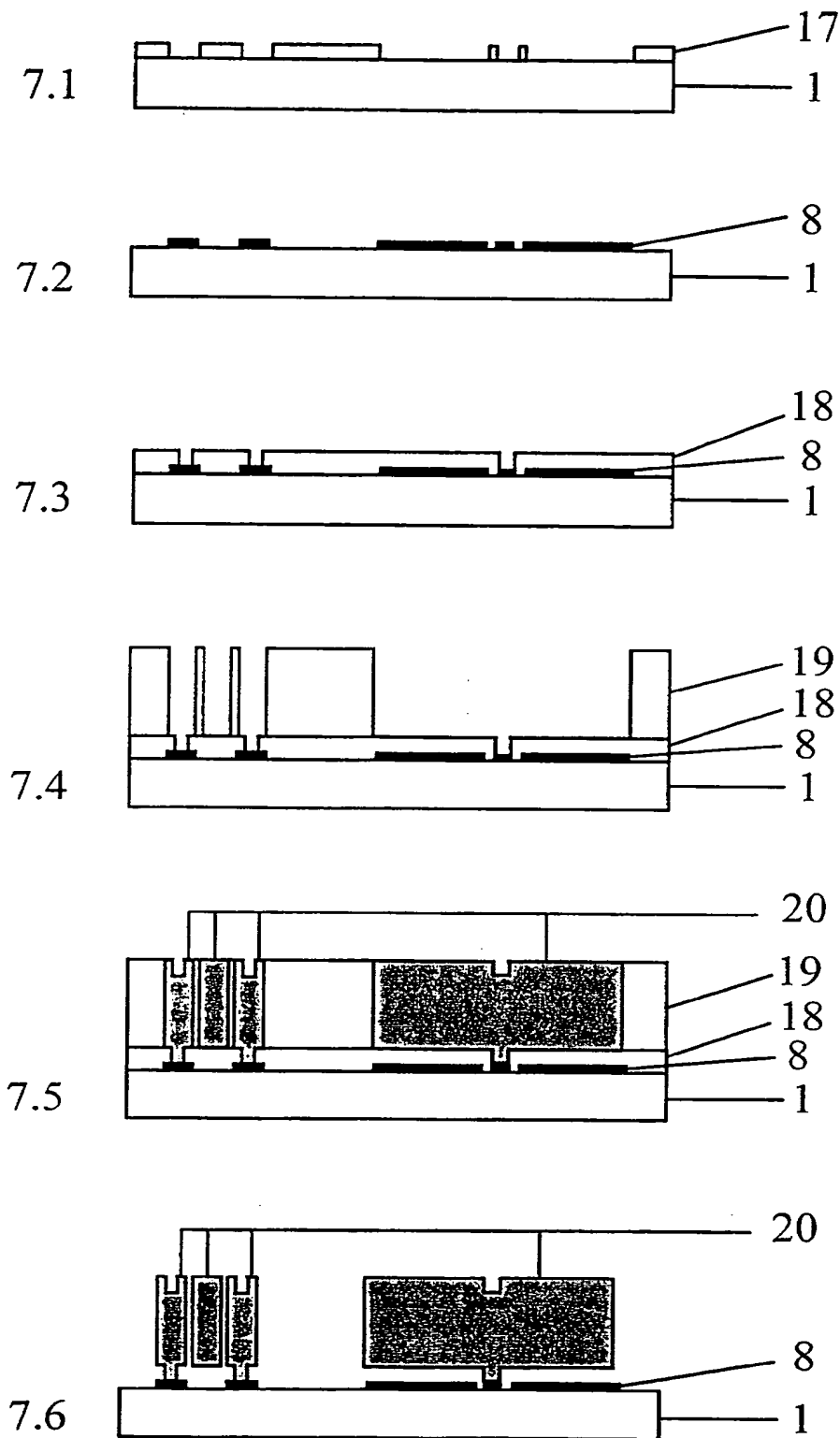


Fig. 7